

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-160499

(43)Date of publication of application : 12.06.2001

(51)Int.Cl.

H05G 2/00

(21)Application number : 11-344574

(71)Applicant : JAPAN ATOM ENERGY RES INST

(22)Date of filing : 03.12.1999

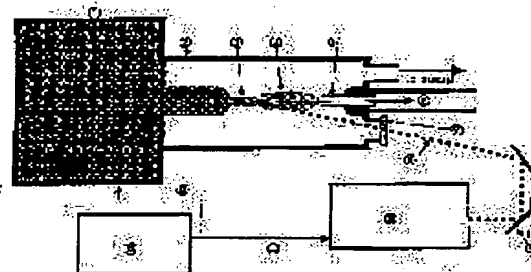
(72)Inventor : OZU AKIRA

### (54) METAL PLASMA DISCHARGE TYPE X-RAY GENERATOR

#### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To generate X-ray or soft X-ray with high brightness in pulse and peak output of excellent directivity which can be utilized in the X-ray application fields of industrial technology such as semiconductor lithography, radiography, medical diagnosis, X-ray microscope, X-ray fluorescence analysis, and improvement of material surface quality or measurement of transfer image or the like, and medical diagnosis technology.

**SOLUTION:** Metal vapor plasma is generated by irradiating one side of the facing metal electrodes in a vacuum vessel with laser beams, which is used as preliminary ionized plasma to perform a large current pinch discharging to compress the plasma to obtain high-density and high-temperature state. Then, it becomes possible to generate characteristic X rays or bremsstrahlung X-ray pulses.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of

rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-160499

(P2001-160499A)

(43) 公開日 平成13年6月12日 (2001.6.12)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 5 G 2/00

識別記号

F I

H 0 5 G 1/00

キーワード (参考)

K 4 C 0 9 2

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 4 頁)

(21) 出願番号 特願平11-344574

(22) 出願日 平成11年12月3日 (1999.12.3)

(71) 出願人 000004097

日本原子力研究所

東京都千代田区内幸町2丁目2番2号

(72) 発明者 大國 章

京都府相楽郡木津町梅美台8丁目1番地

日本原子力研究所関西研究所内

(74) 代理人 100089705

弁理士 社本 一夫 (外5名)

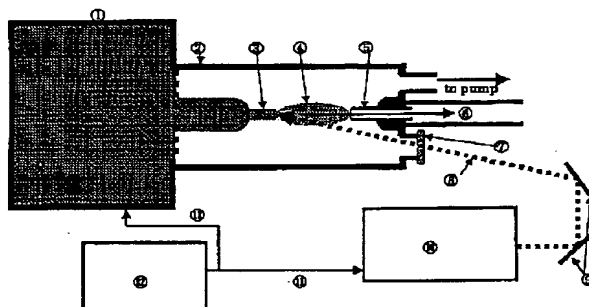
Fターム (参考) 4C092 AA06 AB21 AC09 BD09

(54) 【発明の名称】 金属プラズマ放電型X線発生装置

(57) 【要約】

【課題】 半導体リソグラフィー、ラジオグラフィー、医療診断、X線顕微鏡、X線蛍光分析、材料表面改質及び透過画像計測等を行うX線応用の産業技術、医療診断技術分野で利用できる、X線パルスの輝度、ピーク出力が高く、かつ指向性の良いX線または軟X線を形成する。

【解決手段】 真空容器内の対向金属電極の片側にレーザー光を照射して金属蒸気プラズマを生成させ、それを予備電離プラズマとして大電流ピンチ放電を行いプラズマを圧縮して高密度、高温にし、プラズマから特性X線、または制動放射X線パルスを発生させることを可能とする金属プラズマ放電型X線発生装置。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 真空容器内の対向金属電極の片側にレーザー光を照射して金属蒸気プラズマを生成させ、それを予備電離プラズマとして大電流ピンチ放電を行いプラズマを圧縮して高密度、高温にし、プラズマから特性X線、または制動放射X線パルスが発生させることを可能とする金属プラズマ放電型X線発生装置。

【請求項2】 ピンチ放電を行う対向電極は、円筒形または円柱状のピン電極構造を有し、それらの軸は陰極、陽極とも同一軸上にあることを特徴とする請求項1記載の放電型X線発生装置。

【請求項3】 対向電極の片側にパイプ状の電極または穴を有する電極を用い、その穴から対向電極間のピンチプラズマから電極軸方向に発生、増幅されるX線を取り出すことを特徴とする請求項1記載の放電型X線発生装置。

【請求項4】 レーザー光により金属表面に生成される金属蒸気プラズマは、円柱または円筒状電極の軸に対して径方向に対称に膨張することを特徴とする請求項1記載の放電型X線発生装置。

【請求項5】 発生するX線の光子エネルギーは、金属電極の材質を変えることによって変化させることが可能であることを特徴とする請求項1記載の放電型X線発生装置。

【請求項6】 ピンチ放電は、レーザー照射により金属蒸気プラズマが片方の電極上に生成された後、ある一定時間経過後プラズマの膨張によりプラズマがもう片方の電極に到達したところで開始されることを特徴とする請求項1の放電型X線発生装置。

【請求項7】 X線パルス発生の繰り返し数は、金属蒸気プラズマを生成するレーザー光とピンチ放電の繰り返し数に依存することを特徴とする請求項1記載の放電型X線発生装置。

【請求項8】 X線パルスの輝度、強度及びエネルギー等は、ピンチ放電における放電電流及びレーザー光のパルスエネルギーに依存することを特徴とする請求項1の放電型X線発生装置。

【請求項9】 金属電極上に生成されるレーザープラズマの温度、密度及び膨張速度は、レーザー光強度及びレーザー光の電極面への集光状態に依存することを特徴とする請求項1の放電型X線発生装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、X線パルスの輝度、ピーク出力が高く、かつ指向性の良いX線または軟X線を必要とする半導体リソグラフィ、ラジオグラフィ、医療診断、X線顕微鏡、X線蛍光分析、材料表面改質及び透過画像計測等を行うX線応用の産業技術、医療診断技術分野で利用できる。

## 【0002】

【従来の技術】従来技術では、金属蒸気プラズマを用いてピンチ放電によるX線発生を行う方法として、電極間に金属化合物製または金属製の細管を用いるものがある。これらは、細管中にバッファース等を経て放電を行い、その放電衝撃、放電熱等で細管を形成する金属化合物または金属を蒸発させて金属プラズマを生成させる。さらにこの金属蒸気生成のための放電と同時にピンチ放電によりX線が発生させるものである。

【0003】一方、セラミックまたはプラスチック等の絶縁物の細管中に金属化合物または金属を少量設置して、同様の放電を行って金属ピンチプラズマからX線が発生させる場合がある。

【0004】または、特開平6-325708号公報のように真空中の対向電極間にレーザー光照射専用の金属ターゲットを設置して、このターゲットからレーザー光照射により金属蒸気プラズマを蒸発させ電極間に横方向から金属プラズマを送り込む方法がある。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】金属蒸気プラズマを用いたピンチ放電型X線発生装置において、ピンチ放電によるピンチプラズマからの高いX線発生効率を得るためには、安定なピンチ放電が必要である。そのためには、ピンチ放電に移行する直前の電極間のプラズマ密度分布が軸に対してより対称であることが要求される。

【0006】細管を使用する方法では細管中にある程度密度の高い金属プラズマを生成させることは可能であるが、細管中の放電を均一に行うことは難しくまた細管にできる温度分布が均一でないために、軸方向及び径方向に均一で軸対称な密度分布を作るとは困難となる。さらには、金属蒸気が細管内面に付着し空間的な放電インピーダンスの不均一性が原因となり放電の再現性が悪化する。これによって、この金属プラズマ密度の軸に対する不均一、非対称性が、ピンチ放電の不安定性を招いてX線発生効率を低下させるという問題点がある。

【0007】一方、金属ターゲットからレーザー光照射により金属蒸気プラズマを電極間に送り込む方法は、電極間に十分な密度の金属プラズマを送り込むことができるが、対向電極の軸上に横方向からプラズマを入射させるために軸対称な密度分布を持つ予備電離金属プラズマを電極間に生成させることは困難となる。同様に、ピンチ放電に移行する直前の予備電離プラズマの軸に対する密度分布の非対称性が問題となり、ピンチ放電が不安定になりX線発生効率を悪化させるという問題点がある。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するためには、同じ軸上にある円筒状または円柱状の対向電極間で安定なピンチ放電を行うためには、空間対称性に優れ、かつ軸に対して対称な密度分布を有する金属予備電離プラズマを生成させる必要がある。これを行うために、本発明は、対向電極の先端に軸に対して浅い角度で

もう片方の電極側からレーザー光を照射し、電極に金属レーザープラズマを生成させ、電極間に軸の径方向に対して対称な密度分布を有する予備電離プラズマを生成するものである。

【0009】本発明においては、斜め入射したレーザー光によって発生した金属蒸気プラズマは、生成された対向電極の先端から軸に対して径方向の密度分布を空間的に対称に維持した状態でもう片方の電極方向に膨張する。これにより電極間に、安定なピンチ放電に必要な軸に対して対称な密度分布を有する予備電離金属蒸気プラズマを生成させることができる。

【0010】本発明により、予備電離プラズマの径方向密度分布が軸に対して対称となるため、従来の方と比して安定なピンチプラズマを生成できる。これにより、高い効率でX線を発生させることが可能となる。

【0011】

【発明の実施の形態】図1に示されるように、本発明の金属プラズマ放電型X線発生装置は、マルクスジェネレータ1（パルス電圧発生装置）、ピンチ放電電極が内蔵されている円筒形真空容器2、YAGレーザー装置10及び同期制御装置12から構成される。円筒形真空容器2は、容器内を高真空に保持する排気装置とレーザー光8を高圧電極先端3に導くためのYAGレーザー光入射窓7を備えている。ピンチ放電が行われる電極は、高圧電極（陽極）3と陰極5に分かれ、先端が約2mmφ、長さ1cmのピンチ状対向電極である。高圧電極（陽極）3の先端ピンは、金蒸気レーザープラズマ生成のため材質は金が使用されている。陰極はステンレス製である。

【0012】同期制御装置12より、最初にYAGレーザー装置10にYAGレーザー用同期制御トリガーパルス11が投入され、4倍波（波長266nm）、レーザーエネルギー約60mJのYAGレーザーパルス光8が発生する。YAGレーザーパルス光8は、レーザー反射ミラー9により高真空に保持されている円筒形真空容器2内の高圧電極先端3にYAGレーザー光入射窓7をとうして電極軸に対して浅い角度で照射される。高圧電極先端3で生成されたレーザープラズマ4は、対向電極の軸を中心に対称に膨張し、また陰極方向に拡散していく。このレーザー生成プラズマ4が陰極に達する時間を見越して同期制御装置12よりマルクスジェネレータ1にマルクスジェネレータ用同期制御トリガーパルス13が投入されピンチ高圧電極（陽極）3に高圧パルスが印加される。このときピンチ高圧電極3と陰極5間でレーザー生成プラズマ4をもとにピンチ放電が行われ、ピンチプラズマ4が生成される。ピンチ放電により高温、高密度となったピンチプラズマ4からは陰極5の穴をとうしてX線パルス6が放出される。

【0013】レーザー光が電極3に照射される浅い角度とは、具体的に電極3の電極軸に対して0～45°の角度内であり、この角度以外では電極3、5間にその径方

向に対して対称な密度分布の予備電離プラズマを発生させることができない。又この角度は、効率の良いプラズマ発生観点から好ましくは0～30°であり、最も好ましくは0～15°でありできる限り小さい方がよい。

【0014】図2に、本発明による典型的なX線パルス波形、並びにレーザーパルス光、放電電圧及び放電電流の波形が示される。グラフ上部の波形より、レーザーパルス光1、放電電圧2、放電電流3及びX線パルス4を示す。レーザーパルス光1が入射された後、約1.7μs後にピンチ放電が実施されピンチ電極間のレーザー生成プラズマに放電電圧2が印加され、放電電流3が流れる。この放電によってレーザープラズマが高温高密度のピンチプラズマになりパルス幅約250nsのX線パルス4を発生する。

【0015】図3に、X線パルスエネルギーのマルクスジェネレータの充電電圧依存性を示す。X線のパルスエネルギーは、放電エネルギーの増大に伴って増加した。これにより、本発明では安定なピンチ放電を容易に行うことができ、さらに放電エネルギーを上昇させることでより大きなX線パルスのエネルギーを取り出せることがわかる。以下、本発明を実施例に基づいて説明する。

【0016】

【実施例】本発明の金属蒸気プラズマ放電型ピンチX線発生装置は、図1に示されるように、コンデンサー容量：3.4nFのピンチ放電用マルクスジェネレータ（パルス電圧発生装置）、レーザープラズマ生成用のYAGレーザー装置（4倍波：266nm、パルスエネルギー：60mJ、パルス幅：50ns）及び真空排気装置を含めたX線発生用真空容器から構成される。

【0017】ピンチ放電用ピンチ状対向電極は、円筒形真空容器内の軸上に設置されている。陽極はマルクスジェネレータ側に接続され、高圧パルスが印加される。陰極は、中空の管状の電極構造を有しグラウンド側の真空容器に接続されている。また、装置にはYAGレーザー装置とマルクスジェネレータの同期を制御する同期制御システムが装備されている。X線パルスは、レーザー光が照射されない側の陰極側の管状ピン電極（穴径：1.5mmφ）をとうしてピンチプラズマから放出される。

【0018】図2には、本発明によって発生したX線パルス波形、並びに入射したレーザーパルス光、ピンチ放電時の放電電流及び放電電圧のパルス波形が示される。レーザープラズマは陽極先端上で生成されると同時に陰極方向に膨張し始める。プラズマが十分陰極に到達したところで、レーザーパルス入射から放電が開始されるまでの時間間隔の後、図に示すようなパルス放電を行った。このときにピンチプラズマが生成され、図2のようなX線パルスが発生した。

【0019】陽極のピン電極材質に金を用いたところ、実効平均光子エネルギー約1keVのX線パルスが得られた。また、円筒形真空容器内壁であるピン電極軸の径

方向においてもピンチプラズマから同様の光子エネルギーのX線を観測することができた。陰極の中空の管より放電エネルギー約38 Jで約1  $\mu$ J程度(光子数 $10^9 \sim 10^{10}$ 個)のX線パルスを取り出すことができた。

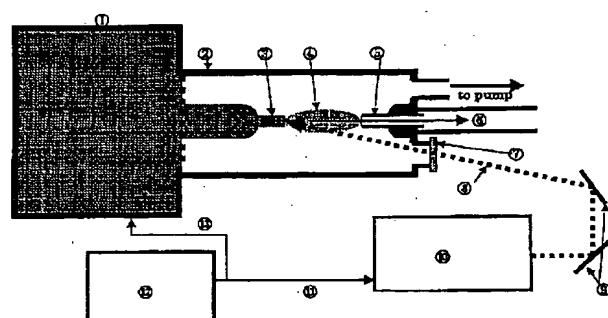
【0020】図3には、X線パルスエネルギーのマルクスジェネレータの充電電圧依存性が示される。X線のパルスエネルギーは、放電エネルギーの増大に伴って増加した。これにより、本発明では安定なピンチ放電を容易に行うことができ、さらに放電エネルギーを上昇させることでより大きなX線パルスのエネルギーを取り出せることがわかる。

【0021】

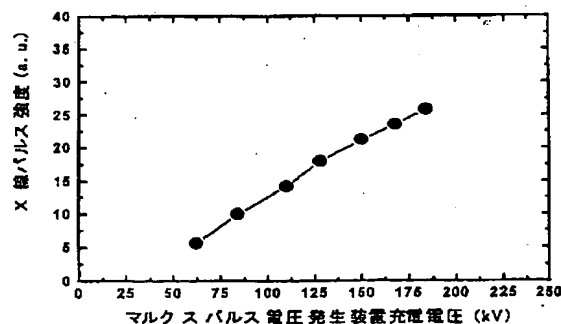
【発明の効果】本発明により、従来の方法に比して蒸気発生が困難である金属蒸気プラズマから効率良くX線を発生させることが可能となる。このため、放電型X線装置の小規模化及び高出力化に貢献することができる。また放電型X線発生装置を利用するX線応用の技術開発分野においても、システム効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】



【図3】



\*【図1】 本発明を実施した金属プラズマ放電型X線発生装置を示す図である。

【図2】 本発明による典型的なX線パルス波形及びレーザーパルス、放電電圧及び電流波形を示す図である。

【図3】 本発明によるX線パルス強度のマルクスジェネレータの充電電圧依存性を示す図である。

【符号の説明】

- 1 マルクスジェネレータ (パルス電圧発生装置)
- 2 円筒形真空容器
- 3 高圧電極 (陽極)
- 4 レーザー生成プラズマ及びピンチプラズマ
- 5 陰極 (グランド)
- 6 X線パルス
- 7 YAGレーザー光入射窓
- 8 YAGレーザー光
- 9 レーザー反射ミラー
- 10 YAGレーザー装置
- 11 YAGレーザー用同期制御トリガーパルス
- 12 同期制御装置

\*20 13 マルクスジェネレータ用同期制御トリガーパルス

【図2】

